

БУДІВНИЦТВО

УДК 539.3

**ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ БЕТОННОЇ БАЛКИ
ЗАЛЕЖНО ВІД МІСЦЯ ЇЇ ПОПЕРЕДНЬОГО ОБТИСНЕННЯ**

І. М. Кузьмич

студент 2 курсу, група Б-21, навчально-науковий інститут будівництва і архітектури
Науковий керівник – к.т.н., доцент В. І. Андрушков

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

Представлено матеріали дослідження впливу місця попереднього обтиснення бетонної балки на її несучу здатність. Результати порівнювались з відповідними значеннями, отриманими при розрахунку балки, як бруса, який працює на поздовжньо-поперечний згин за методом допустимих навантажень.

Ключові слова: балка, бетон, попереднє обтиснення, несуча здатність.

Представлены материалы исследования влияния места предварительного обжатия бетонной балки на ее несущую способность. Результаты сравнивались с соответствующими значениями, полученными при расчете балки, как бруса, который работает на продольно-поперечный изгиб по методу допустимых нагрузок.

Ключевые слова: балка, бетон, предварительное обжатие, несущая способность.

The materials of the investigation of the influence of the pre-compression site of a concrete beam on its bearing capacity are presented. The results were compared with the corresponding values obtained in calculating the beam, as a beam, which works on longitudinal-transverse bending by the method of permissible loads.

Keywords: beam, concrete, preliminary reduction, bearing capacity.

Бетон – це матеріал, який по-різному чинить опір розтягу і стиску. Допустима напруга бетону на розтяг (σ_{adm}^t) значно менша за допустиму напругу на стиск (σ_{adm}^c), тому при згинанні балка з такого матеріалу здатна витримати дуже мале поперечне навантаження.

Попереднє обтиснення такої балки суттєво підвищить її несучу здатність. За його оптимальне значення слід прийняти таку величину, при дії якої балка залишається міцною як при відсутності, так і при наявності поперечного навантаження, а її вантажопідйомність буде максимальною.

Методика визначення оптимальної величини попереднього обтиснення була запропонована в роботі [1]. Але автором цієї роботи розглянуто лише задачу, коли сила попереднього обтиснення діяла вздовж осі балки. При розрахунках було використано принцип незалежності дії сил, тобто не враховувався додатковий згинальний момент від поздовжнього навантаження.

Мета даної роботи – дослідити вплив величини ексцентриситету попереднього обтиснення балки на її несучу здатність та визначити величину похибки, яку дає методика, наведена в роботі [1].

Розглянемо згин попередньо напруженої бетонної балки прямокутного поперечного

перерізу (рис. 1). Поздовжні сили P діють з ексцентриситетом $e = h/6$, тобто точка їх прикладання розташована на границі ядра поперечного перерізу балки. Точки m і n належать перерізу балки, де величина згинального моменту максимальна.

Будемо вважати, що балка має велику жорсткість, а тому для визначення нормальних напруг в цих точках скористаємось принципом незалежності дії сил.

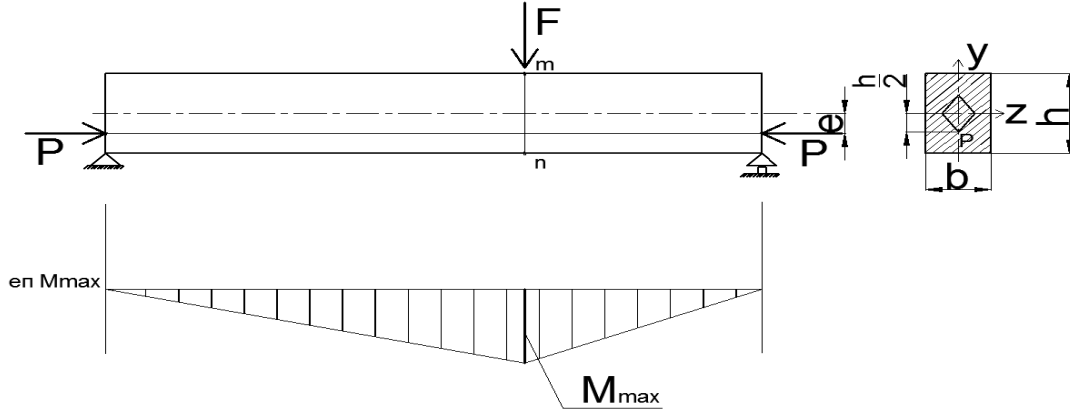


Рис. 1. Схема балки та епюра згинальних моментів від дії поперечного навантаження

Умова міцності балки представлена в вигляді нерівностей:

$$\begin{cases} \sigma_m = \frac{M_{max}}{I_z} \cdot \frac{h}{2} \leq \sigma_{adm}^c, \\ \sigma_n = \frac{M_{max}}{I_z} \cdot \frac{h}{2} - \frac{2P}{A} \leq \sigma_{adm}^t. \end{cases} \quad (1)$$

Введемо такі позначення:

$$\frac{M_{max}}{I_z} \cdot \frac{h}{2} = Y; \quad \frac{P}{A} = X. \quad (2)$$

Тоді нерівності (1) будуть мати вигляд:

$$\begin{cases} Y \leq \sigma_{adm}^c, \\ Y \leq \sigma_{adm}^t + 2X. \end{cases} \quad (3)$$

На рис. 2 показано графіки: $Y = \sigma_{adm}^c$ (пряма BC), та $Y = \sigma_{adm}^t + 2X$ (пряма DL).

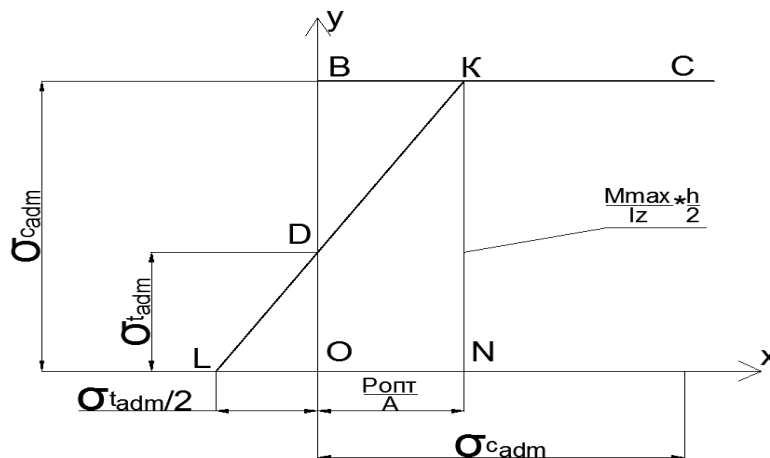


Рис. 2. Графіки функцій $Y = \sigma_{adm}^c$, та $Y = \sigma_{adm}^t + 2X$

Точка K перетину прямих BC і DL (рис.2) являється точкою оптимального розв'язку.

Ордината цієї точки (відрізок $\mathbf{KN} = \sigma_{adm}^c$) відповідає максимальному допустимому поперечному навантаженню на балку (F_{adm}), а абсциса (відрізок \mathbf{ON}) відповідає оптимальному значенню її попереднього обтиснення (P_{opt}).

З подібності трикутників \mathbf{KNL} і \mathbf{DOL} визначаємо:

$$P_{opt} = \frac{A}{2} (\sigma_{adm}^c - \sigma_{adm}^t), \quad (4)$$

а максимально допустиме значення згинального моменту з рис. 2 буде дорівнювати

$$M_{max} = \frac{2I_z}{h} * \sigma_{adm}^c. \quad (5)$$

З рівняння (5) можна визначити величину F_{adm} .

В таблиці 1 наведено значення P_{opt} , M_{max} і F_{adm} в залежності від величини ексцентриситету (e) лінії дії попереднього обтиснення балки.

Таблиця 1

Значення P_{opt} , M_{max} і F_{adm}

e	Розрахункова величина			%
	P_{opt} , кН	M_{max} , кНм	F_{adm} , кН	
0	$\frac{A}{2} (\sigma_{adm}^c - \sigma_{adm}^t) = 178,56$	$\frac{I_z}{h} (\sigma_{adm}^c + \sigma_{adm}^t) = 9,56$	$\frac{4M_{max}}{l} = 9,56$	-
$\frac{h}{6}$	$\frac{A}{2} (\sigma_{adm}^c - \sigma_{adm}^t) = 178,56$	$\frac{2I_z}{h} \cdot \sigma_{adm}^c = 16,70$	$\frac{4M_{max}}{l} = 16,7$	+75
$\frac{h}{2}$	$\frac{A}{4} \cdot \sigma_{adm}^c = 104,4$	$\frac{2I_z}{h} (\sigma_{adm}^c + \sigma_{adm}^t) = 19,12$	$\frac{4M_{max}}{l} = 19,12$	+100

Примітка 1. Розрахунки виконувались при наступних вихідних даних:

- сила F діє посередині прогону балки;
- матеріал балки – бетон класу B25 (M350);
- $E=0,3 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності бетону;
- $R_{\pi}^c = 18,5$ МПа – нормативний опір бетону при стиску;
- $R^c = 14,5$ МПа – розрахунковий опір бетону при стиску;
- $R_{\pi}^t = 3,2$ МПа – нормативний опір бетону на розтяг при згині;
- $R^t = 2,1$ МПа – розрахунковий опір бетону на розтяг при згині;
- $l = 4$ м – довжина прогону балки;
- $b \cdot h = 12 \cdot 24$ (см) – розміри поперечного перерізу балки;
- $I_z = \frac{bh^3}{12} = 13824 \text{ см}^4$ – осьовий момент інерції поперечного перерізу балки відносно нейтральної осі;
- $W_z = \frac{bh^2}{6} = 1152 \text{ см}^3$ – осьовий момент опору поперечного перерізу балки відносно нейтральної осі.

Примітка 2. При відсутності попереднього обтиснення балки величина допустимого поперечного навантаження дорівнюватиме

$$F_{adm} = \frac{8 \cdot I_z}{l \cdot h} \cdot \sigma_{adm}^t = \frac{8 \cdot 13824 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 24 \cdot 10^{-2}} \cdot 2,1 \cdot 10^3 = 2,42 \text{ кН}.$$

В таблиці 2 порівнюються величини напруг, які отримано за методикою [1], з

відповідними значеннями при врахуванні додаткових згинальних моментів від дії поздовжніх сил. Тобто для порівняння було виконано розрахунок попередньо розглянутих прикладів завантаження балки, як розрахунок бруса при поздовжньо-поперечному згинанні. Причому, величини напруг в крайніх точках небезпечного перерізу балки обчислювались за методом допустимих навантажень з урахуванням ексцентриситету лінії дії поздовжніх сил [2] за формулою:

$$\sigma = -\frac{P}{A} \pm \frac{M_{max}}{W_z} \pm \frac{P \cdot e}{W_z} \pm \frac{P}{W_z} \cdot y_0 \cdot c, \quad (6)$$

де $y_0 = \frac{Fl^3}{48EI_z} - \frac{P \cdot e \cdot l^2}{8EI_z}$ – величина прогину від дії сили F і моменту $P \cdot e$;

$c = \frac{1}{1 - \frac{k \cdot P}{P_e}}$ – коефіцієнт, який враховує вплив поздовжніх сил на величину прогину;

k – коефіцієнт запасу міцності ($k = \frac{R_H^c}{R^c}$ – в зоні стиску і $k = \frac{R_H^t}{R^t}$ – в зоні розтягу матеріалу);

$P_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2}$ – Ейлерова сила.

Таблиця 2

Величини нормальних напруг в крайніх точках поперечного перерізу балки

e	Напруга σ_m		Напруга σ_n		Розбіжність %
	За методикою [1]	За формулою (6)	За методикою [1]	За формулою (6)	
0	14,50 МПа	15,02 МПа	-	-	3,5
$h/6$	14,50 МПа	14,82 МПа	-	-	2,2
$h/2$	-	-	2,10 МПа	2,11 МПа	0,5

Примітка: при розрахунку сили P і F дорівнювали значенням P_{opt} і F_{adm} (табл. 1) відповідно.

Аналіз результатів розрахунків, представлених в таблицях 1 і 2, дає можливість зробити наступні висновки:

1. При збільшенні ексцентриситету точки прикладання сили попереднього обтиснення балки вантажопідйомність балки суттєво зростає.
2. При тих вихідних даних, які було використано в розв'язку задач, похибка від нехтування додатковим згинальним моментом від поздовжнього навантаження незначна. Причому її величина зменшується зі збільшенням ексцентриситету лінії дії попереднього обтиснення балки. Це пояснюється тим, що збільшення ексцентриситету точки прикладання сили P зменшує її плече при визначенні додаткового згинального моменту, який, в свою чергу, все менше впливає на величину нормальної напруги.
3. Результати дослідження можуть бути використані в навчальному процесі для студентів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія».

1. Варвак П. М. Новые методы решения задач сопротивления материалов / П. Н. Варвак. – Издательское объединение «Вища школа», 1977. – 160 с. 2. Беляев Н. М. Сопротивление материалов / Н. М. Беляев. – Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1976. – 608 с.